

**KUALITAS BIOPELET DARI LIMBAH BATANG KELAPA SAWIT
PADA BERBAGAI UKURAN SERBUK DAN JENIS PEREKAT*****The Quality of Biopellet from Oil Palm Trunk Waste with Different Size of
Particle and Adhesives*****Zulfian, Farah Diba, Dina Setyawati, Nurhaida, Emi Roslinda**Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura. Jln Imam Bonjol Pontianak 78124
E-mail : emon.zulfian85@gmail.com**ABSTRACT**

The research aimed to evaluate the effect of particle size and adhesives on the quality of biopellet from oil palm trunk. The adhesives used were tapioca and sago. The particle size were pass 10 mesh and retained 20 mesh; pass 20 mesh and retained 40 mesh; pass 40 mesh and retained 60 mesh; and pass 60 mesh. Biopellet was made by meat mincer in home scale and resulted the biopellet with size 2 cm long and diameter 0.4 cm. Biopellet then dry in oven for 24 hour with temperature 60°C-70°C. The quality of biopellet was evaluate with SNI 8021 : 2014. Result of the research showed that average value of moisture content were 5.27%-6.75% ; average value of ash content 4.69%-8.73%; average of volatile matter content were 72.62%-77.46% ; average value of fixed carbon were 14.02%-21.60%; average value of calor were 3719,67 cal/g-4451,67 cal/g. The quality of biopellet can fulfill the requirement standard of SNI 8021 : 2014, except on ash content. The best result was on particle with size pass 10 mesh and retained 20 mesh with adhesives tapioca.

Keyword: Biopellet, bioenergy, sago, tapioca

PENDAHULUAN

Luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Menurut Kementerian Pertanian (2015) luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mengalami pertumbuhan sebesar 11,8% dengan luas total tahun 2014 diperkirakan mencapai 13,5 juta ha. Berdasarkan program pemerintah yang telah disetujui dengan perusahaan perkebunan, mulai tahun 2010 diadakan peremajaan kebun kelapa sawit paling sedikit 100.000 ha per tahun. Jika diasumsikan dalam 1 ha terdapat 128 batang, dimana pada umur 25 tahun volume perbatang mencapai 1,638 m³, maka akan dihasilkan limbah batang kelapa sawit sebanyak 12,8 juta pohon per tahun atau lebih dari 20 juta m³ kayu tersedia per tahun (Erwinsyah, 2008).

Saat ini limbah batang kelapa sawit belum maksimal dimanfaatkan oleh masyarakat.

Salah satu limbah biomassa yang belum dimanfaatkan secara optimal adalah batang kelapa sawit sebagai pembuatan *biomass pelets* (Biopellet). Limbah batang kelapa sawit bila tidak dimanfaatkan lebih lanjut akan menimbulkan permasalahan baru salah satunya sarang bagi kumbang *Oryctes rhinoceros* dan penyakit *Ganoderma* yang potensial menyerang tanaman muda (Departemen Pertanian, 2006). Salah satu pemanfaatan limbah batang kelapa sawit sebagai bahan bakar rumah tangga atau industri-industri adalah *biomass pelets* (Biopellet). Biopellet adalah jenis bahan bakar padat berbasis limbah dengan ukuran lebih kecil dari ukuran briket (Windarwati, 2011).

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kualitas bioplet adalah ukuran serbuk dan jenis perekat. Bahan tambahan perekatn tapioka merupakan bahan yang sering digunakan dalam pembuatan bioplet karena mudah didapat, harganya pun relatif murah dan dapat menghasilkan kekuatan rekat kering yang tinggi. Perekat sagu mempunyai kandungan karbohidrat (pati) sebanyak 97%, dimana perekat pati merupakan perekat alam yang sangat murah, pasokan melimpah karena tersedia dalam jumlah banyak dan cara pemakaian yang sederhana. Kadar bahan perekat yang tinggi juga dapat menurunkan mutu briket akibat timbulnya asap (Zamirza, 2009).

Penelitian mengenai pengaruh ukuran serbuk terhadap kualitas bioplet telah dilakukan. Ukuran serbuk partikel bungkil biji jarak dalam pembuatan bioplet menurut Saptoadi (2006) berpengaruh terhadap tingkat reaksi selama pembakaran. Hasil penelitian briket arang dengan ukuran serbuk lolos saringan 20 *mesh* tertahan 40 *mesh* memiliki hasil yang terbaik untuk pembuatan briket arang, dimana ukuran serbuk memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kerapatan, keteguhan tekan, kadar air, zat mudah menguap, kadar abu dan karbon terikat (Diba, 1994). Oleh karena itu pada penelitian dilakukan pemanfaatan limbah batang kelapa sawit untuk dibuat bioplet dengan perlakuan berbagai jenis ukuran serbuk dan penggunaan jenis perekat yang berbeda sehingga menghasilkan kualitas yang optimal.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium *Wood Workshop*, Laboratorium Pengolahan Kayu Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura, Laboratorium Agronomi dan Klimatologi Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura, dan Laboratorium Kimia Hasil Hutan IPB. Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan bioplet adalah serbuk dari batang kelapa sawit dengan ukuran serbuk bervariasi.

Batang kelapa sawit dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil, agar mempermudah proses penghancuran di dalam alat *willey mill* dengan berbagai ukuran partikel tertahan 10 *mesh*, pengayakan dilakukan menggunakan alat pengayak dengan ukuran saringan 10 *mesh*, saringan 20 *mesh*, saringan 40 *mesh*, dan saringan 60 *mesh*. Bahan perekat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tepung tapioka dan tepung sagu dengan persentase 5% dari berat bahan (Tabil, 1996 dalam Hasanuddin, 2012). Pencampuran bahan dilakukan sesuai perlakuan, pencetakan bioplet menggunakan mesin penggiling daging (*meat mincer*) skala rumah tangga, dengan ukuran pelet yang dihasilkan panjang ± 2 cm dan diameter 0,4 cm. Bioplet dikeringkan di dalam oven selama 24 jam dengan suhu 60°C-70°C, kemudian bioplet diuji berdasarkan standar SNI 8021 : 2014.

HASIL DAN PEMBAHASAN

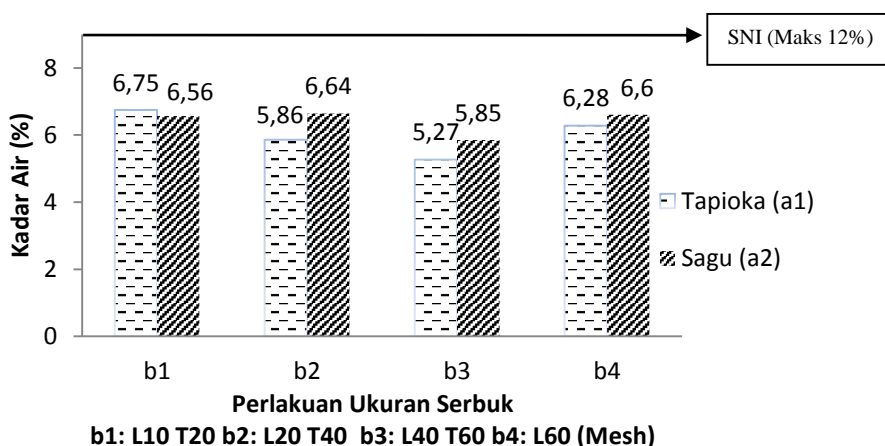
Analisis Karakteristik Fisik Bioplet

- Kadar Air (%) Bioplet

Rerata kadar air tertinggi adalah 6,75% pada perlakuan bioplet yang memiliki ukuran serbuk lolos 10 *mesh*

tertahan 20 mesh dengan jenis perekat tepung tapioka dan nilai rerata terendah 5,27% pada perlakuan biopelet yang memiliki ukuran serbuk lolos saringan 40 mesh tertahan 60 mesh dengan perekat tepung tapioka. Nilai rerata kadar air

biopelet yang dihasilkan semuanya memenuhi standar SNI 8021 : 2014, yaitu nilai kadar air di bawah 12%. Nilai rerata kadar air biopelet batang kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kadar Air Biopelet dari Limbah Batang Kelapa Sawit pada Berbagai Ukuran Serbuk dan Jenis Perekat (*The Average Value of Moisture Content of Biopellet from Oil Palm Trunk with Different Particle Size and Adhesives Type*).

Berdasarkan hasil analisis keragaman kadar air biopelet batang kelapa sawit diketahui bahwa perlakuan jenis perekat dan ukuran serbuk serta interaksi keduanya tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air. Nilai kadar air cenderung menurun dengan semakin halusya ukuran serbuk, kecuali pada perlakuan biopelet ukuran serbuk lolos 60 mesh disebabkan pada saat pencetakan atau pencampuran perekat tidak merata dan menghasilkan biopelet yang tidak seragam sehingga mudah mengalami penyerapan air di udara. Faktor lain pula dalam pembuatan biopelet menggunakan campuran air dan perekat dapat berpengaruh pada peningkatan kadar air biopelet sehingga menyebabkan kandungan biopelet tidak stabil. Sejalan dengan hasil penelitian, Ali dan Restuhasi (2010) menyatakan air yang ditambahkan

selama proses pencampuran bungkil picung dan bahan tambahan berpengaruh pada peningkatan kadar air biopelet.

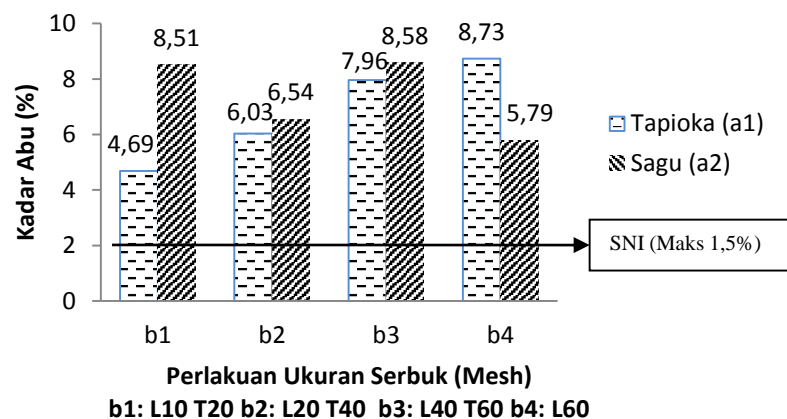
Faktor perekat juga berperan penting dalam peningkatan kadar air biopelet. Gambar 1 menunjukkan penggunaan perekat tepung sagu cenderung menghasilkan kadar air lebih tinggi daripada perekat tapioka. Hal ini dapat disebabkan kandungan air bawaan dari kedua jenis perekat, dimana tepung sagu memiliki kadar air lebih tinggi sebesar 14,1% dibandingkan kandungan kadar air tepung tapioka sebesar 9,84% (Aripin, dkk 2010).

- Kadar Abu (%) Biopelet

Kadar abu biopelet batang kelapa sawit memiliki rerata tertinggi 8,73% pada perlakuan biopelet yang memiliki ukuran serbuk lolos saringan 60 mesh dengan perekat tepung tapioka. Nilai rerata kadar

abu terkecil 4,69% terdapat pada perlakuan yang memiliki ukuran serbuk lolos saringan 10 mesh tertahan 20 mesh dengan jenis perekat tepung tapioka. Nilai

rerata kadar abu tidak memenuhi standar SNI 8021 : 2014 yang mensyaratkan maksimal 1,5%. Nilai rerata kadar abu biopelet disajikan pada Gambar 2.



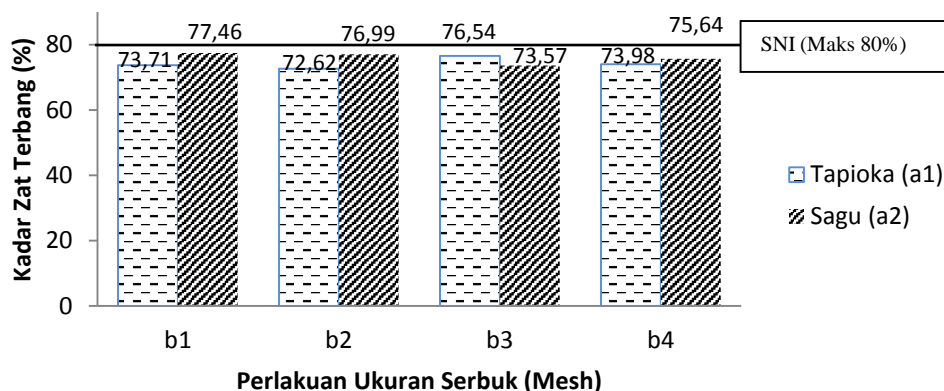
Gambar 2. Kadar Abu Biopelet dari Limbah Batang Kelapa Sawit pada Berbagai Ukuran Serbuk dan Jenis Perekat (*The Average Value of Ash Content of Biopellet from Oil Palm Trunk with Different Particle Size and Adhesives Type*)

Berdasarkan hasil analisis keragaman diketahui perlakuan jenis perekat, ukuran serbuk, serta interaksi antara dua faktor tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap kadar abu biopelet. Berdasarkan hasil penelitian ini, kadar abu yang dihasilkan cukup tinggi dikarenakan bahan baku yang digunakan dalam pembuatan biopelet adalah batang kelapa sawit yang banyak mengandung silika. Semakin tinggi kadar silika pada biomassa maka abu yang dihasilkan dari proses pembakaran akan semakin tinggi pula. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Ridwansyah (2007) yang menyatakan kandungan silika pada batang kelapa sawit tergolong tinggi. Menurut Fakta Kelapa Sawit (2010) kandungan silika kelapa sawit jauh lebih tinggi sebesar (1,34%) dibandingkan

dengan kayu Agathis (0,1%) dan Jati (0,4%).

Kadar Zat Terbang (%) Biopelet

Hasil penelitian kadar zat terbang biopelet batang kelapa sawit memiliki nilai rerata tertinggi 77,46% pada perlakuan biopelet yang memiliki ukuran serbuk lolos saringan 10 mesh tertahan 20 mesh dengan perekat tepung sagu. Nilai rerata terendah 72,62% terdapat pada perlakuan yang memiliki ukuran serbuk lolos saringan 20 mesh tertahan 40 mesh dengan perekat tapioka. Nilai rerata kadar zat terbang biopelet memenuhi standar SNI 8021 : 2014 yang mensyaratkan nilai kadar zat terbang maksimal 80%. Nilai rerata kadar zat terbang biopelet hasil penelitian disajikan pada Gambar 3.



b1: L10 T20 b2: L20 T40 b3: L40 T60 b4: L60

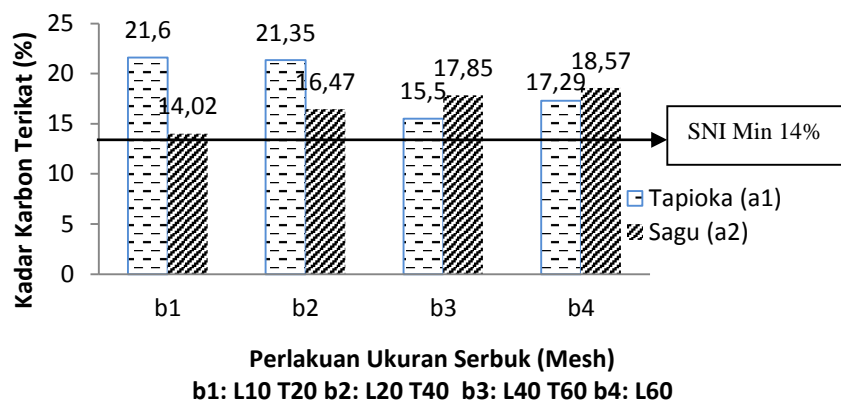
Gambar 3. Kadar Zat Terbang Biopellet dari Limbah Batang Kelapa Sawit Pada Berbagai Ukuran Serbuk dan Jenis Perekat (*The Average Value of Volatile Matter Content of Biopellet from Oil Palm Trunk with Different Particle Size and Adhesives Type*)

Berdasarkan hasil analisis keragaman jenis perekat, ukuran serbuk, serta interaksinya tidak berpengaruh nyata terhadap kadar zat terbang biopellet. Penelitian ini menggunakan batang kelapa sawit yang tidak mengalami proses karbonisasi sehingga zat terbang yang dihasilkan relatif tinggi dan menghasilkan asap yang cukup banyak. Kadar zat terbang merupakan zat yang dapat menguap sebagai hasil dekomposisi senyawa – senyawa yang masih terdapat didalam bahan tersebut selain air (Hendra dan Pari, 2000). Semakin tinggi jumlah kadar zat terbang dari suatu bahan bakar maka jumlah asap yang dihasilkan semakin tinggi.

- Kadar Karbon Terikat (%) Biopellet

Hasil penelitian menunjukkan kadar karbon terikat biopellet batang kelapa sawit

memiliki nilai rerata tertinggi 21,60% pada perlakuan biopellet yang memiliki ukuran lolos saringan 10 mesh tertahan 20 mesh dengan perekat tapioka. Nilai rerata kadar karbon terikat biopellet terendah 14,02% terdapat pada perlakuan yang memiliki ukuran serbuk lolos saringan 10 mesh tertahan 20 mesh dengan jenis perekat sagu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar karbon terikat biopellet batang kelapa sawit memenuhi standar SNI 8021 : 2014 yang mensyaratkan nilai minimum 14% tetapi tidak semua biopellet hasil penelitian yang memenuhi standar karena ada yang nilainya lebih dari 14%. Nilai rerata kadar karbon terikat biopellet disajikan pada Gambar 4.



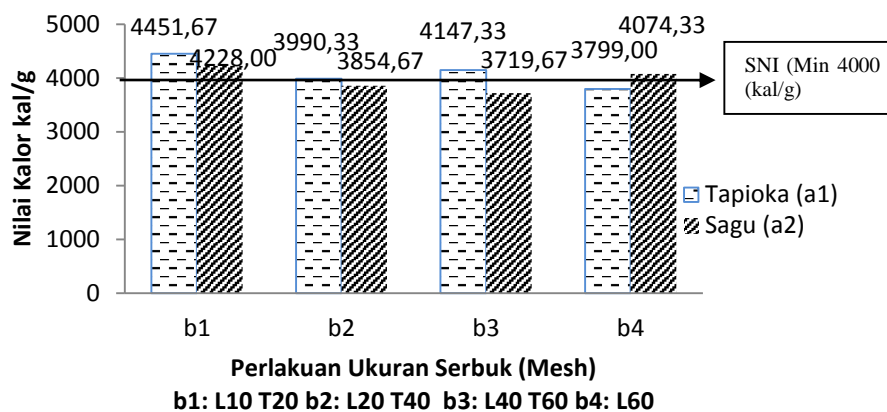
Gambar 4. Kadar Karbon Terikat Biopellet Dari Limbah Batang Kelapa Sawit Pada Berbagai Ukuran Serbuk dan Jenis Perekat (*The Average Value of Fixed Carbon Content of Biopellet from Oil Palm Trunk with Different Particle Size and Adhesives Type*)

Berdasarkan hasil analisis keragaman, diketahui bahwa jenis perekat dan ukuran serbuk serta interaksinya tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kadar karbon terikat biopellet. Penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan biopellet ukuran lolos 10 mesh tertahan 20 mesh dengan perekat tapioka memiliki nilai karbon terikat tinggi (21,60%). Hal tersebut dipengaruhi oleh rendahnya nilai kadar abu dan kadar zat terbang. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Pari dan Sailah (2001) yang menyatakan bahwa rendahnya nilai kadar karbon terikat dipengaruhi oleh tingginya kadar abu dan kadar zat terbang yang dihasilkan. Menurut Sudrajat (1983) dalam Sulistyowati (2010) dengan tingginya kuantitas atau kadar karbon terikat briket arang yang menggunakan perekat pati maka briket tersebut menghasilkan nilai kalor yang tinggi pula.

- Nilai Kalor (kal/g) Biopellet

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rerata kalor tertinggi (4451,67 kal/g) terdapat pada perlakuan biopellet dengan ukuran lolos saringan 10 mesh tertahan 20 mesh dengan perekat tapioka. Rerata kalor

biopellet terendah 3719,67 kal/g terdapat pada perlakuan yang memiliki ukuran serbuk lolos saringan 40 mesh tertahan 60 mesh dengan jenis perekat tepung sagu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor biopellet batang kelapa sawit sebagian besar memenuhi standar SNI 8021 : 2014 yang mensyaratkan minimal 4000 kal/g, antara lain pada perlakuan lolos saringan 10 mesh tertahan 20 mesh dengan perekat tapioka, lolos saringan 20 mesh tertahan 40 mesh dengan perekat sagu, lolos saringan 40 mesh tertahan 60 mesh dengan jenis perekat tapioka dan lolos saringan 60 mesh dengan jenis perekat sagu. Nilai kalor biopellet batang kelapa sawit sebagian kecil tidak memenuhi standar SNI 8021 : 2014 antara lain pada perlakuan lolos saringan 20 mesh tertahan 40 mesh dengan jenis perekat tapioka, lolos saringan 20 mesh tertahan 40 mesh dengan jenis perekat sagu, lolos saringan 40 mesh tertahan 60 mesh dengan jenis perekat sagu dan lolos saringan 60 mesh dengan jenis perekat tapioka. Nilai rerata nilai kalor biopellet disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai Kalor Biopellet dari Limbah Batang Kelapa Sawit Pada Berbagai Ukuran Serbuk dan Jenis Perekat (*The Average Value of Calorof Biopellet from Oil Palm Trunk with Different Particle Size and Adhesives Type*)

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa jenis perekat dan ukuran serbuk serta interaksinya berpengaruh sangat nyata terhadap nilai kalor biopellet yang dihasilkan. Biopellet dengan perlakuan lolos saringan 10 mesh tertahan 20 mesh secara umum dengan perekat tapioka memiliki nilai kalor tertinggi. Hal ini disebabkan tingginya nilai karbon terikat pada biopellet batang kelapa sawit yang dapat memicu daya nyala api yang besar pada biopellet tersebut. Sependapat dengan Rahman (2011), nilai kalor yang semakin tinggi menunjukkan kualitas bahan bakar yang semakin baik.

Hasil penelitian ini sangat berpengaruh dengan ukuran serbuk yang

paling besar dan jenis perekat tapioka untuk menghasilkan nilai kalor yang tinggi. Sejalan dengan penelitian Sulistyowati (2010) ukuran serbuk lolos 10 mesh tertahan 20 mesh memiliki nilai kalor yang paling tinggi. Tepung tapioka memiliki viscositas perekat yang tinggi dan menjadi tepung yang baik digunakan dalam pembuatan biobriket atau biopellet, Diba (1994).

Analisis Karakteristik Pembakaran Biopellet

Rekapitulasi berdasarkan hasil penelitian pada pengujian laju konsumsi bahan bakar biopellet dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Laju Konsumsi Bahan Bakar Biopellet Limbah Batang Kelapa Sawit (*The Rate of Consumption of Biofuel of Biopellet from Oil Palm Trunk*)

Jenis Perekat	Ukuran serbuk	Waktu pendidihan 1 liter air (Menit)	Massa biopellet yang terpakai (gram)	Laju Konsumsi biopellet (kg/jam)
a1	b1	6	185,83	1,86
	b2	7	225,37	1,93
	b3	7	253,77	2,18
	b4	8	278,57	2,09
a2	b1	7	215,41	1,85
	b2	8	243,20	1,82
	b3	8	263,91	1,98
	b4	7	258,94	2,22

Ket : a1 = Perekat Tapioka

a2 = Perekat Sagu

b1 = Lolos 10 mesh Tertahan 20 mesh

b2 = Lolos 20 mesh Tertahan 40 mesh

b3 = Lolos 40 mesh Tertahan 60 mesh

b4 = Lolos 60 mesh

Laju konsumsi biopellet merupakan jumlah massa biopellet yang terbakar dan massa biopellet yang terpakai untuk mendidihkan air selama proses pendidihan air. Waktu pendidihan 1 liter air tercepat selama 6 menit dengan menggunakan biopellet perlakuan ukuran serbuk lolos saringan 10 mesh tertahan 20 meshperekat tapioka. Perbedaan waktu pendidihan air dikarenakan adanya perbedaan nilai kalor pembakaran pada setiap biopellet batang kelapa sawit dengan perbedaan ukuran serbuk. Semakin tinggi nilai kalor biopellet maka waktu pendidihan air semakin cepat.

Hasil penelitian diketahui bahwa biopellet dengan ukuran lebih halus yang memiliki ukuran lolos saringan 40 mesh tertahan 60 mesh menggunakan perekat tepung tapioka dan sagu. Nilai laju konsumsi biopellet sebesar 2,18 kg/jam dan 1,98 kg/jam. Begitu juga dengan perlakuan yang memiliki ukuran lolos saringan 60 mesh dengan menggunakan perekat tepung tapioka dan sagu memiliki laju konsumsi biopellet batang kelapa sawit sebesar 2,09 kg/jam dan 2,22 kg/jam. Sejalan dengan pendapat Rahman (2011) kemudahan menyala sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi laju konsumsi biopellet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembakaran biopellet batang kelapa

sawit pada berbagai perlakuan menghasilkan asap yang banyak diawal proses pembakaran dan asap berkurang setelah nyala api stabil.

KESIMPULAN

1. Jenis perekat dan ukuran serbuk tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan karbon terikat begitu juga dengan interaksi kedua faktor tersebut, tetapi berpengaruh sangat nyata terhadap nilai kalor serta interaksi kedua faktor.
2. Hasil penelitian terbaik terdapat pada perlakuan lolos saringan 10 mesh tertahan 20 mesh menggunakan tepung tapioka telah memenuhi standar SNI 8021 : 2014 kecuali pada nilai kadar abu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali A. dan Restuhasi, F. 2010. Optimasi Pembuatan Biopellets dari Bungkil Picung (*Pangium edule* Reinw) dengan Penambahan Solar dan Perekat Tapioka. Jurnal Sagu 9: 1-7.
- Aripin, Marliani, Lina L, Sukmawati, Yanti, Zainudin. 2010. Analisis Kualitas Briket Arang Tongkol Jagung yang Menggunakan Bahan Perekat Sagu dan Kanji. Jurnal Aplikasi Fisika 6:93-94.

- Badan Standarisasi Nasional. 2014. Pelet Kayu. SNI 8021 : 2014. Jakarta.
- Departemen Pertanian. 2006. Statistik Pertanian 2006. Deptan. Jakarta.
- Diba F. 1994. Pengaruh Jenis Perekat dan Ukuran Serbuk Terhadap Sifat Fisik dan Kimia Briket Arang Kayu Meranti Merah (*Shorea leprosula* Mig) [Skripsi] Pontianak : Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura.
- Erwinsyah. 2008. Improvement of Oil Palm Wood Properties Using Bioresin [disertasi]. Universitas Teknologi Dresden-Belanda.
- Hasanuddin, Idham H.L. 2012. Pembuatan Biopellet Ampas Kelapa Sebagai Energi Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Tanah Ramah Lingkungan. Laporan Penelitian Berorientasi Produk. Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo.
- Hendra D, Pari G. 2000. Penyempurnaan Teknologi Pengolahan Arang. Laporan Hasil Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor.
- Kementerian Pertanian. 2015. Statistik Pertanian 2014. Jakarta.
- Pari dan Sailah. 2001. Pembuatan Arang Aktif Dari Sabut Kelapa Sawit Dengan Bahan Pengaktif NH_4HCO_3 dan $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ Dosis Rendah. Penelitian Hasil Hutan Bogor. Vol. 19 No 4 : 231-244.
- Rahman. 2011. Uji Keragaan Biopellet Dari Biomassa Limbah Sekam Padi (*Oryza sativa* sp.) Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan. [skripsi] Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Ridwansyah, M. Z. Nasution, T. C. Sunarti, A. M. Fauzi. 2007. Karakteristik Sifat Fisiko-Kimia Pati Kelapa Sawit. Jurnal Teknologi Industri Pertanian 17:1-6.
- Saptoadi H. 2006. The Best Biobriquette Dimension and its Particle Size. TheJoint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)” 21-23 November 2006. Bangkok, Thailand.
- Sulistyowati, Anita. 2010. Kualitas Briket Arang Berdasarkan Komposisi Bahan Baku dan Ukuran Serbuk. [skripsi] Pontianak : Fakultas Kehutanan, Universitas Tanjungpura.
- Tim Advokasi Minyak Sawit Indonesia, Dewan Minyak Sawit Indonesia. [TAMSI, DMSI] 2010. Fakta Kelapa Sawit Indonesia. Ed ke-1. Jakarta.
- Windarwati S. 2011. Seminar Nasional Teknologi Kimia Kayu. Bogor.
- Yokoyama S. 2008. Buku Panduan Biomassa Asia. [terjemahan bahasa Indonesia]. The University of Tokyo. Japan.
- Zamirza F. 2009. Pembuatan Biopellet dari Bungkil Jarak Pagar (*Jathropa curcas* L.) dengan Penambahan Sludge dan Perekat Tapioka. [skripsi] Bogor : Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.